

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
Please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspto)

No title available.

Patent Number: DE19940926
Publication date: 2001-03-01
Inventor(s): GOECKLER HEINZ (DE); GROTH ALEXANDRA (DE)
Applicant(s):: BOSCH GMBH ROBERT (DE)
Requested Patent: ☒ DE19940926
Application DE19991040926 19990827
Priority Number(s): DE19991040926 19990827
IPC Classification: H03H17/02 ; H03H17/06
EC Classification:
Equivalents: AU6861200, ☐ WO0117108

Abstract

The invention relates to a filter unit, comprising a decimator (2), core filter (1) and an interpolator (3). According to the invention, the sampling rate is decreased by a fractional sampling rate modification factor L/M, prior to the core filtration process. This allows the construction of a simple filter structure which can be universally used. Parallelisation achieves a structure whose clock rate can be freely modified.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

This Page Blank (uspto)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 40 926 A 1**

51 Int. Cl. 7:
H 03 H 17/02
H 03 H 17/06

21 Aktenzeichen: 199 40 926.9
22 Anmeldetag: 27. 8. 1999
43 Offenlegungstag: 1. 3. 2001

DE 199 40 926 A 1

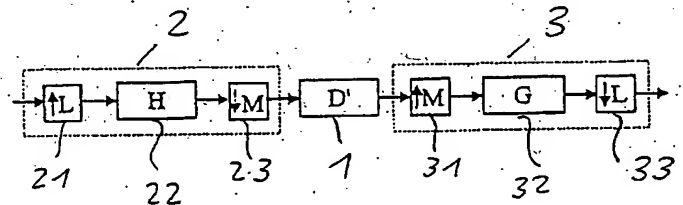
71 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Goeckler, Heinz, Prof. Dr., 71522 Backnang, DE;
Groth, Alexandra, 44789 Bochum, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Filtereinrichtung mit Kernfilter, Dezimator und Interpolator

57 Bei einer Filtereinrichtung, bestehend aus Dezimator (2), Kernfilter (1) und Interpolator (3) wird eine Verminderung der Abtastrate um einen nicht ganzzahligen Abtastfaktor L/M vorgenommen. Es lässt sich damit eine Filterstruktur mit geringem Aufwand realisieren, die universell einsetzbar ist.



DE 199 40 926 A 1

Beschreibung

Die Erfindung geht aus von einer Filtereinrichtung bestehend aus einem Kernfilter sowie einem eingangsseitigen Dezimator und einem ausgangsseitigen Interpolator.

Aus [1] N. Fliege "Multiraten-Signalverarbeitung", Teubner-Verlag, Stuttgart, 1993, Seiten 141 bis 146, und [3] P. P. Vaidyanathan "Multirate Systems and Filter Banks", Prentice Hall Signal Processing Series, 1993, Seiten 30 und 42, ist bekannt, bei Tiefpässen, deren Grenzfrequenz wesentlich unterhalb der halben Abtastfrequenz liegt, die Eingangsabtastrate erst einmal zu reduzieren, dann die eigentliche Filterung in einem sogenannten Kernfilter durchzuführen und anschließend durch Interpolation die ursprüngliche Eingangsabtastrate wiederherzustellen.

Aus der US 4,725,972 [2] ist es bekannt, bei Verfahren zur Anpassung von Systemen unterschiedlicher Abtastrate parallele Filterpfade zu verwenden. Das Quellsignal wird auf die parallelen Filterpfade zyklisch verteilt und gefiltert. Die Signalsummenfassung erfolgt mit einem Kommutator und einer Summiereinrichtung.

Vorteile der Erfindung

Mit den Maßnahmen des Anspruchs 1 ist es möglich, eine Filterung durchzuführen, deren Aufwand – Filteroperationen pro Zeiteinheit – unabhängig von der Wahl der Abtastrate des Kernfilters gering gehalten werden kann. Im Gegensatz [1], wo die Abtastrate um einen ganzzahligen Faktor M vermindert wird und der Gesamtrechenaufwand, d. h. die Filteroperationen pro Zeiteinheit, von der Wahl der Abtastrate $f_k = f_a/M$ des Kernfilters abhängig ist, erhält man für den nicht ganzzahligen Dezimationsfaktor nach der Erfindung einen minimalen Rechenaufwand. Außerdem läßt sich der ganzzahlige Ansatz der Abtastratenverminderung bei [1] nicht anwenden, wenn beispielsweise im Fall eines Tiefpasses für die Sperrgrenzfrequenz f_s gilt: $f_s > f_a/4$. In diesem Fall muß der Dezimationsfaktor $M > 2$ sein, also nicht ganzzahlig. Offenbar läßt sich für diesen Fall, was entsprechend für Hoch- und Bandpässe gilt, gemäß [1] keine Aufwandsverminderung erzielen. Die erfindungsgemäße Lösung hingegen ist frei von solchen Einschränkungen. Die Abtastfrequenz ist bei der Erfindung frei wählbar. Damit scheitert ihr Einsatz auch nicht an Technologiegrenzen, wie der direkten Filterung. Gegenüber herkömmlichen Strukturen läßt sich eine große Aufwandsersparnis erzielen.

In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen aufgezeigt.

Ist die Abtastrate $f_a \cdot L/M$ des Kernfilters aus technologischen Gründen nicht realisierbar, läßt sich das Kernfilter mittels Polyphasenzerlegung entweder mit dem L/M -Dezimator oder dem L/M -Interpolator kombinieren, deren Rechenoperationen vorzugsweise mit einer einheitlichen Abtastrate $f_a/M = f_k/L > f_k$ durchgeführt werden. Die Wahl des Abtastrafaktors $R = L/M$ kann auf ein Minimum an Rechenaufwand optimiert werden. Liegt dieses Optimum fest, so kann durch gleichsinnige Veränderung der natürlichen Zahlen L und M die Abtastrate für die parallelisierten Filterpfade von Dezimator, Interpolator und Kernfilter-Polyphasenkomponenten beliebig gewählt werden, ohne daß sich der Gesamtaufwand verändert.

Zeichnungen

Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 eine FIR-Filterstruktur nach dem Stand der Technik,

Fig. 2 den Rechenaufwand in Abhängigkeit des Abtastrafaktors,

Fig. 3 eine Filterstruktur mit Aufteilung des Kernfilters auf die Poly-Phasenkomponenten des Dezimators

Fig. 4 eine Filterstruktur mit parallelisierten Filterphasen,

Fig. 5 eine Filterstruktur mit Kommutatoren,

Fig. 6 eine Filterstruktur mit Aufspaltung des Kernfilters in Polyphasenkomponenten,

Fig. 7 eine Filterstruktur mit Vertauschung der Expandierung und Kernfilterung und

Fig. 8 eine optimierte Filterstruktur mit einstellbarer Abtastrate.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Bevor auf die eigentliche erfindungsgemäße Realisierung eingegangen wird, wird zum besseren Verständnis eine Lösung des Standes der Technik gemäß [1] erläutert.

Nach Fig. 1 besteht eine FIR-Filterimplementierung, insbesondere nichtrekursiver Art, zur Abtastratenwandlung um den ganzzahligen Faktor M aus einem eingangsseitigen Dezimator 2, einem Kernfilter 1 und einem ausgangsseitigen Interpolator 3. Der Buchstabe H bezeichnet die Übertragungsfunktion des Dezimators 2, der Buchstabe G bezeichnet die Übertragungsfunktion des Interpolators 3 und der Buchstabe D bezeichnet die Übertragungsfunktion des Kernfilters 1. Die Zahl der Multiplikationen pro Zeiteinheit bestimmt dabei den Rechenaufwand C der Filterstruktur. Dieser Rechenaufwand C ist, wie die Fig. 2 zeigt, eine Funktion des Abtastrafaktors $R = 1/M$. Der optimale Abtastrafaktor kann nach [1] bestimmt werden. Im Fall ganzzahliger Abtastratenwandlung kann R_{opt} nur grob angenähert werden gemäß R_{opt} ungefähr $1/M$. Im bestimmten Anwendungsfällen kann der optimale Abtastrafaktor nicht, ausreichend genau durch diese Annäherung beschrieben werden, vgl. auch Fig. 2. Es sei festgestellt, daß die Multiraten-FIR-Filterstruktur gemäß der Fig. 1 auf Filtersperrfrequenzen $f_s < f_a/4$, mit f_a = Eingangsabtastrate der Filterstruktur entsprechend $R \leq 1/2$ beschränkt ist.

Bei der in der Fig. 3 dargestellten FIR-Filterstruktur nach der Erfindung vermindert der Dezimator 2 die Eingangsabtastrate f_a um den nicht ganzzahligen Abtastrafaktor $R = L/M < 1$, wobei L und M natürliche teilerfremde Zahlen sind. Die Abtastrate für das Kernfilter 1 ergibt sich damit zu $f_k = f_a \cdot L/M$, also einer Subnyquist-Rate. Im Dezimator 2 muß das Eingangssignal für das Kernfilter 1 mit der Übertragungsfunktion $D' = D'(z)$ in der Stufe 21 um den Faktor L expandiert werden, anschließend bandbegrenzt werden (Stufe 22 mit der Übertragungsfunktion H), um Spiegelfrequenz- und Alias-effekte zu unterdrücken und dann in der Stufe 23 mit dem Faktor M komprimiert zu werden. Die Nachbearbeitung

des Ausgangssignals des Kernfilters 1, insbesondere Zurückgewinnung der ursprünglichen Eingangsabtastrfrequenz f_a , wird durch Operationen vorgenommen, die zur eingangsseitigen Expandierung und Komprimierung transponiert sind (Stufen 31 und 33 des Interpolators 3). Die Filterstruktur gemäß der Fig. 3 ist im gesamten Bereich von Filtersperrfrequenzen $f_s \in (0, f_a/2)$ anwendbar entsprechend $0 < R < 1$.

Zur Verminderung von Rechenaufwand eignet sich die in der Fig. 4 dargestellte Struktur. Dort sind insbesondere L-parallele Filterpfade vorgesehen, für parallelisierte Teilsysteme. Die Filterfunktionen H und G sind in Polyphasenstruktur ausgebildet. Für diese Struktur müssen die Zahlen L und M teilerfremd sein. Sowohl der Dezimator 2 als auch der Interpolator 3 sind eingerichtet, bei einer einheitlichen Abtastrate $f_k = f_a/M$ zu arbeiten mit jeweils L-Polyphasen-Teilkomponenten. Es ist vorteilhaft, das Gesamtfiter so zu konzipieren, daß alle Subsysteme, d. h. Dezimator- und Interpolator-Teilsysteme sowie das Kernfilter 1, mit der einheitlichen Subnyquist-Abtastrate $f_k = f_a/M$ arbeiten.

Ausgehend von der Realisierung nach Fig. 4 ist der Eingang des Kernfilters 1 mit der Übertragungsfunktion $D'(z)$ über einen L-Zu-1-Kommutator 4 für eine L-fache Abtastratenexpansion verbunden, vgl. auch Ausführungsbeispiel nach Fig. 5. Der Kommutator 4 tastet die L-Filterpfade des Dezimators 3 entsprechend der Realisierung gemäß US 4,725 972 zyklisch ab und leitet diese abgetasteten Signale an den Eingang des Kernfilters 1. Der Ausgang des Kernfilters 1 ist mit einem L-Zu-1-Kommutator (Verteilmultiplexer) 5 verbunden, also einer zum L-Zu-1-Kommutator 4 dualen Struktur für eine L-fache Abtastratenreduktion und Parallelisierung.

Um für das Kernfilter 1 eine tiefere Abtastrfrequenz zu erreichen, ist es notwendig, die Reihenfolge von Expandier- und Kernfilterkomponenten zu vertauschen. Zu diesem Zweck wird die Übertragungsfunktion $D'(z)$ des Kernfilters 1, wie die Fig. 6 zeigt, in L-Polyphasen-Komponenten

$$D'_v(z) = \sum_{l=0}^{L-1} z^{-l} D_p(1)(z^L), \quad v = 0, \dots, L-1$$

aufgespalten. Diese Polyphasenkomponenten werden in die parallelen Filterpfade des Dezimators 2, wie in der Fig. 6 dargestellt, oder in einer nicht dargestellten Variante in die parallelen Filterpfade des Interpolators 3 miteinbezogen. Dazu werden verzögerte Versionen von $D'_v(z)$ definiert, die zeitverschobenen Wiederholungen der Impulsantwort $D'_v(n)$ entsprechen:

$$D'_v(z) = z^{-v} D'_0(z) \Leftrightarrow d'_v(n) = d'_0(n-v)$$

Die Vertauschung der Expander und Polyphasenkomponenten des Kernfilters 1 ist mittels Äquivalenzbeziehungen, die in [3], Seiten 119 bis 120 "noble identities" bezeichnet werden, möglich. Nach dieser Vertauschung entsteht die in der Fig. 7 gezeigte Struktur, die die zwei Kommutator-Schalter 4 und 5 für eine zyklische Abtastung nach der Dezimator-Struktur 2 mit L-Parallelpfaden zeigt, welche unmittelbar in Kaskade geschaltet sind und die gleiche Anzahl von Parallelpfaden aufweisen.

In Fig. 7 stellt jede Übertragungsfunktion $D'_p(1)(z^L)$ für $l = 0, \dots, L-1$ alle L-Polyphasenkomponenten des Indexes L der Verzögerungsfiler $D'_v(z)$ für jedes $v = 0, \dots, L-1$ dar. Mit einer geeigneten schaltungstechnischen Verknüpfung (Umordnung) entsprechender Parallelpfade können die Kommutatoren 4 und 5 entfallen. In der so abgeleiteten endgültigen Struktur arbeiten Kernfilter 1 bzw. die L-Phasenkomponenten und die Dezimations- und Interpolationsfilterpfade 2, 3 mit der einheitlichen Abtastrfrequenz $f_k = f_a/M$. Zur Erfüllung des Abtasttheorems beispielsweise für Tiefpaß-Signale muß die Bedingung:

$$2f_{\max} \leq L/M \cdot f_a$$

eingehalten werden. Da alle Teilfilter mit der Abtastrfrequenz f_a/M arbeiten, wird die gesamte Signalprozessierung bei einer Subnyquist-Abtastrate ausgeführt.

Der Abtastrfaktor $R = L/M$ wird vorzugsweise so gewählt, daß er möglichst nahe bei dem in der Fig. 2 dargestellten optimalen Abtastratenfaktor R_{opt} liegt, der zuvor analytisch bestimmt werden kann.

Ist der optimale Abtastrfaktor R_{opt} eingestellt, kann durch gleichsinnige Variation der Zahlen M und L die Abtastrate für parallelisierten Filterpfade beliebig eingestellt werden, ohne daß sich der Gesamtrechenaufwand ändert.

In diesem Fall gilt $L = \text{int}(R_{\text{opt}} \cdot M)$, wobei $\text{int}(R_{\text{opt}} \cdot M)$ den ganzzahligen Wert bezeichnet, der $R_{\text{opt}} \cdot M$ am nächsten liegt. Vorausgesetzt ist, daß L und M teilerfremd sind. Dies führt zu einer Filterstruktur gemäß der Fig. 8.

Für ein Ausführungsbeispiel wurde eine Eingangsabtastrfrequenz f_a von 800 MHz gewählt. Als optimaler Abtastrfaktor $R_{\text{opt}} = L/M$ wurde mit vorgegebenen Filterparametern, d. h. insbesondere vorgegebener Grenzfrequenz, Zahl der Filterkoeffizienten ..., ein Wert von 16/25 ermittelt. Die einheitliche Subnyquist-Abtastrate für die Filterpfade ergibt sich damit zu $f_k = 32$ MHz.

Literatur

- [1] [1] N. Fliege "Multiraten-Signalverarbeitung", Teubner-Verlag, Stuttgart, 1993, Seiten 141 bis 146,
- [2] US 4,725,972 und
- [3] P. P. Vaidyanathan "Multirate Systems and Filter Banks", Prentice Hall Signal Processing Series, 1993, Seiten 30 und 42.

1. Filtereinrichtung bestehend aus einem Kernfilter (1) sowie einem eingangsseitigen Dezimator (2) und einem ausgangsseitigen Interpolator (3) mit folgenden Merkmalen:

- Der Dezimator (2) ist eingerichtet, eine Verminderung der Eingangsabtastrate f_a der Filtereinrichtung um einen nicht ganzzahligen Abtastfaktor $L/M < 1$ zu realisieren, wobei L und M natürliche Zahlen sind,
- das Kernfilter (1) ist eingerichtet, die Filterung bei der so verminderten Abtastrate durchzuführen,
- der Interpolator (3) ist eingerichtet, die Abtastrate des Kernfilters (1) wieder auf die ursprüngliche Eingangsabtastrate f_a anzuheben.

2. Filtereinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für den Dezimator (2) und/oder den Interpolator (3) jeweils parallele Filterpfade vorgesehen sind, die zyklisch abtastbar sind.

3. Filtereinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Kernfilter (1) in Polyphasenkomponenten zerlegt ist, welche mit dem Dezimator (2), oder dem Interpolator (3) bzw. deren Parallelpfade kombiniert sind.

4. Filtereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Kernfilter (1) in L-Polyphasenfilterkomponenten zerlegt ist, die jeweils mit einer Abtastrate von f_a/M betreibbar sind.

5. Filtereinrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Dezimator (2) bzw. Interpolator (3) bezüglich der Parallelpfade gegenüber den Polyphasenkomponenten des Kernfilters (1) so umgeordnet sind, daß die normalerweise notwendigen Kommutatoren (4, 5) zur Weiterleitung von Abtastwerten an das Kernfilter (1) entfallen können.

6. Filtereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl der Dezimator (2) als auch der Interpolator (3) sowie gegebenenfalls das Kernfilter (1) eingerichtet sind, mit einer einheitlichen Abtastrate betrieben zu werden.

7. Filtereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß für den Abtastfaktor $R = L/M$ ein Optimum gewählt ist, bei dem ein Minimum an Rechenaufwand für die digitale Filterung entsteht, wobei dieser Rechenaufwand insbesondere als Filteroperationen pro Zeiteinheit charakterisiert ist.

8. Filtereinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß beim optimalen Abtastfaktor $R = L/M$ durch gleichsinnige Variation der Zahlen L und M beliebige Abtastraten für die parallelisierten Filterpfade von Dezimator (2), Interpolator (3) und Kernfilter-Phasenkomponenten (1) einstellbar sind.

9. Filtereinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß FIR-Filterstrukturen insbesondere nichtrekursiver Art für das Kernfilter (1) sowie den Dezimator (2) und den Interpolator (3) eingesetzt sind.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

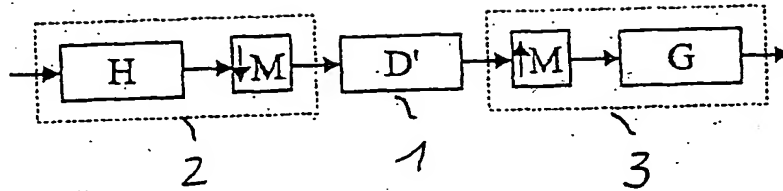


Fig. 1

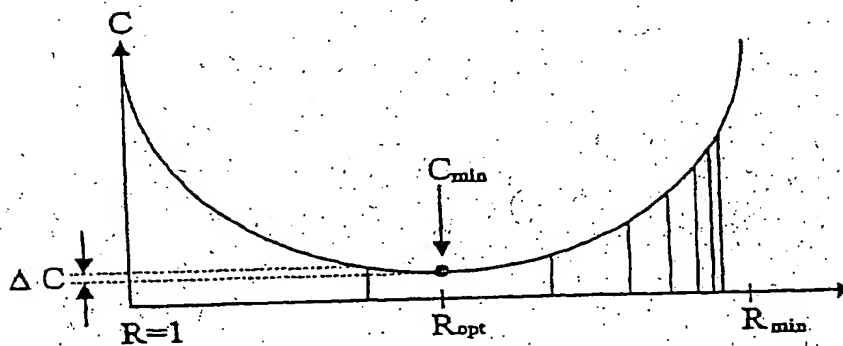


Fig. 2

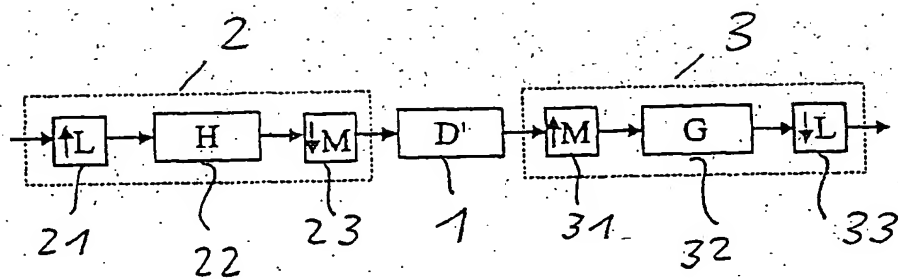


Fig. 3

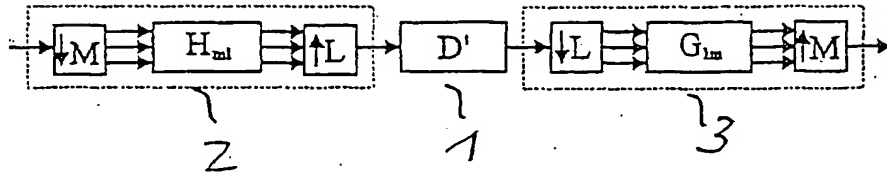


Fig. 4

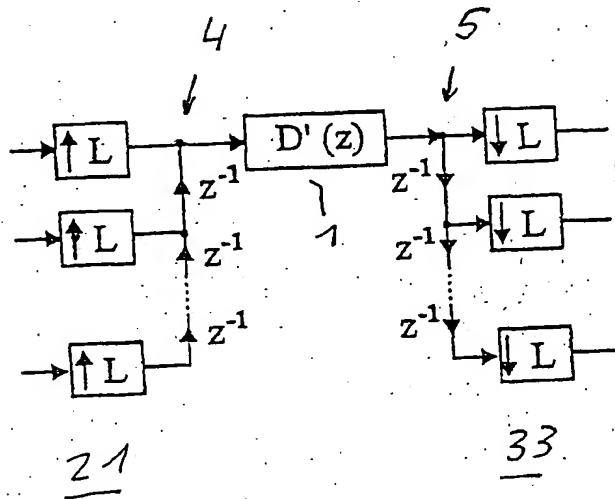


Fig. 5

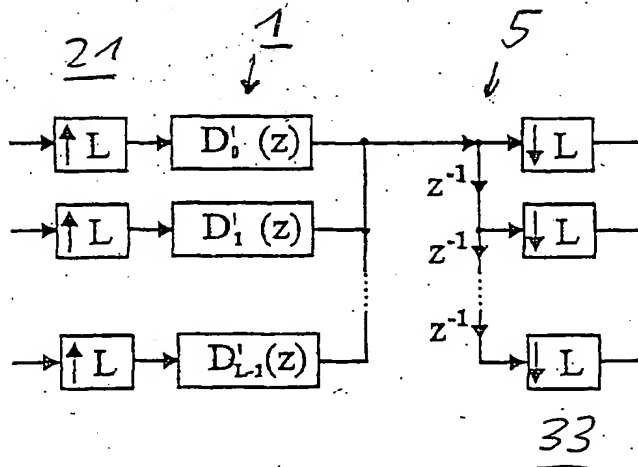


Fig. 6

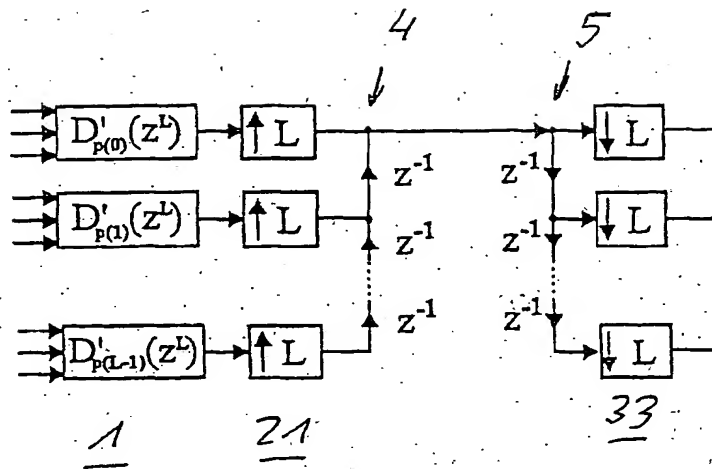


Fig. 7

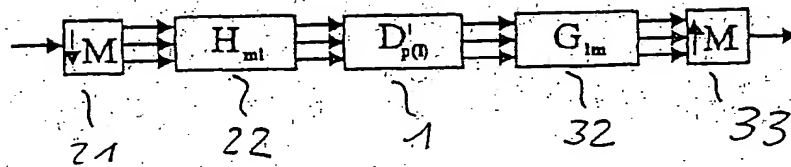


Fig. 8